Weighing the Right Way

計量ガイド

計量の向上
優れた技術
正確な計量結果

適切な電子天びんの使い方

正しい計量方法とは

METTLER TOLEDO

適切な電子天びんの使い方
正しい計量方法とは

1. はじめに 5
2. 天びんの設置場所 6
3. 天びんの取り扱いと操作 8
4. 周囲環境からの物理的影響 13
5. 計量に関する専門用語 25
6. GWP® – 計量ガイドライン 33
7. 索引 35
8. メトラー・トレドの世界各地の
   オフィス所在地 38

1. はじめに

研究室で行われる作業の中で、計量は頻度や重要性、所要時間のどれをとっても一番大きな作業の一つです。一般に天びんは、ウルトラミクロ天びんを除き、特別な計量室を必要としない設計となっています。

電子機器の技術向上によって天びんの取り扱いは非常に簡単になり、計量時間も短縮されました。さらに、近年ではタッチスクリーン式のデジタルディスプレイにより直感的な天びんの操作が可能となっています。

一方この進化により、周囲環境が及ぼす望ましくない影響に対する注意がややもするとおろそかになりがちです。このような外的要因は計量に影響して不正確な結果につながります。周囲環境が及ぼす影響は、すべての天びんで測定可能な物理的作用として現れます。周囲環境が及ぼす影響の例：

- 静電気
- 空気対流
- 振動
- 磁力
- 蒸発
- 吸湿

液体の蒸発や、吸湿性/揮発性サンプルの重量増加/減少など、外部からの影響によりサンプル特性が間違って解釈されることがあります。

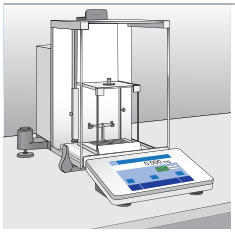
このガイドの目的は、天びんの使用時に注意すべき最重要ポイントを説明することです。

まず、天びんの最適な設置場所を提案します。次に、高感度機器である天びんの正しい取り扱いについて簡単に説明した後、考えられる周辺環境に起因する影響とその作用について分析します。これらの影響のほとんどは、重量表示がゆっくりと変化すること（ドリフト）で認識できます。

さらに、天びんの仕様を正しく解釈することも計量結果を正しく評価する際に非常に重要であるため、最も一般的な専門用語についても最後に解説しています。

2. 天びんの設置場所

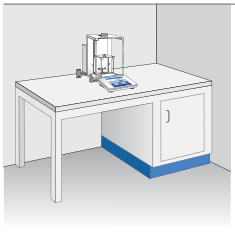
計量結果の精度や再現性は、天びんの設置場所と密接な関係があります。使用中の天びんが最適な条件下で作動するよう、以下の点に十分ご注意ください。



計量台の条件

- 安定していること（実験台、テーブル、ストーンベンチ）
  計量台は計量時にたわまず、可能な限り振動しないものを選んでください。
- 耐磁性があること（実験台の内側または上部にスチールプレートが組み込まれたものは不可）
- 静電気が帯電しないこと
- 単一の固定:
  計量台は、床または壁のいずれかに固定してください（両方には固定しない）。床と壁の両方に同時に固定すると、壁面と床の両方から振動が伝わります。
- 天びん専用であること

天びんの設置場所は、人が計量台に寄りかかったり、近づいたりした場合に、天びんディスプレイの表示が変化することがないような、安定したものであることが必要です。柔らかい下敷きなどの使用は避けてください。天びんの設置位置としては、デスクやテーブルの脚などの支持部の真上が振動の発生が一番少なく最適です。

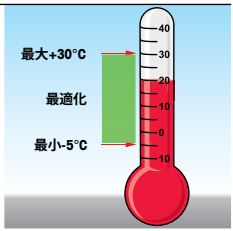


ラボまたは計量室の条件

- 振動がないこと
- 通風がないこと
- 一定の温度に保たれていること

計量作業を行う部屋の隅に計量台を置きます。通常、部屋の隅が建物の中で振動が最も少ない場所だからです。部屋の出入り口のドアとしては、ドアの開閉動作の影響を抑えるために、スムーズに動作する引き戸が理想的です。

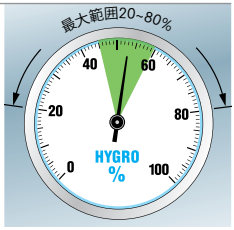
温度



- 室温を可能な限り一定に保ってください。計量結果は温度の急激な変化に大きな影響を受けます。
- 暖房装置や窓の近くでは計量しないでください。

ヒント: 「FACT」(完全自動調整機構)を備えたメトラー・トレドの天びんは、わずかな温度変化による影響を補正することができます。したがって「FACT」のスイッチは常にオンに設定しておきます。

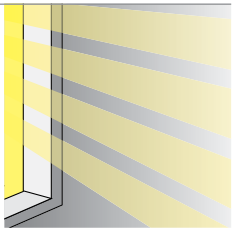
大気湿度



相対湿度(% RH)は45~60%の範囲にあることが理想的です。下限20%、上限80%RHは、いかなる場合にも超過しないようご注意ください。

ミクロ天びんでは常に湿度に注意するようお勧めします。可能な限り変動を補正する必要があります。

光



- 可能であれば、窓のない壁際に天びんを設置してください。直射日光(放射熱)は計量結果に影響を与えます。
- 天びんは照明器具から充分な距離を取って置き、その熱が伝わらないように注意します。これは白熱灯の場合に特に当てはまります。可能であれば、蛍光灯を使用してください。

3. 天びんの取り扱いと操作

天びんは高精度な精密機器です。信頼できる計量結果を得るためには、次のヒントが役立ちます。

スタンバイ/スイッチオン

- 天びんは必ずコンセントに差した状態で、常にスタンバイモードにしておきます。これにより天びんが熱平衡状態になります。
- 天びんのスイッチをオフにする場合は、ディスプレイのキーを使用します。これで天びんがスタンバイモードになります。電子部には通電されている状態なので、ウォーミングアップが不要となります。

ヒント: 初めて電源に接続した場合は、天びんの機種に応じてウォーミングアップ時間を取ることをお勧めします。
機種による目安時間:

- ミクロ天びんでは最大24時間
- セミミクロおよび分析天びんでは約120分
- 上皿天びんでは約30分

上記は目安です。使用している天びんの取扱説明書で指定されている最小時間を取るようにしてください。

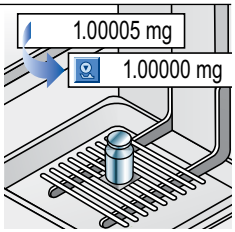
水平調整

毎回の計量前に水準器の中央に気泡があることを確認します。必要に応じて水平調整脚で水平を調整してください。水平調整が終わったら、必ず内部調整を実施します。正しい調整手順は天びんの取扱説明書に記載されています。

ヒント: GxP[1]に準拠するために、天びんの水平調整を常に正確に実施し、調整過程を記録する必要がある場合は、削除水平調整機能「レベルコントロール」を搭載したXPE/XSE天びんシリーズを推奨します。

[1] GxP Good Laboratory Practice (GLP) またはGood Manufacturing Practice (GMP)

調整

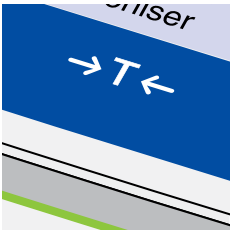


次の場合は、天びんの感度を定期的に調整してください。

- 天びんを初めて使用するとき
- 天びんの設置場所を変更したとき
- 天びんの水平調整を行った後
- 温度、湿度、または気圧の変化があった後

ゼロ設定/風袋引き

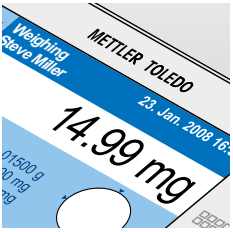
→0←　ゼロのボタンを押すと、天びんの新しいゼロ点が手動で設定されます。計量皿がクリーンでない場合、または別の容器用のホルダーがあり、その重量が不要な場合に新しいゼロ点を使用できます。この場合は、天びんは総重量だけを記録します。



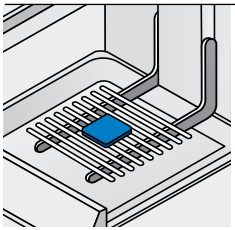
→T←　風袋引きのボタンは、計量プロセスに風袋引きのポイントを手動で加える場合に使用します。これは、サンプルをビーカーに入れて計量したとき、ビーカーの重量も重要な場合、または1つの容器に複数のサンプルを加える必要がある場合に便利です。天びんは総重量、風袋引き後の重量、正味重量を記録します。

計量結果の読み取り

- 計量を開始するたびに、天びんの表示が厳密にゼロになっていることを確認してください。
- 天びんのディスプレイに表示されている小さい円が消えてから計量結果を読み取ってください。この安定検出機能によって計量結果が明らかになります。



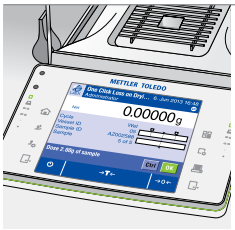
ヒント: XPE/XSE天びんは高度な安定検出機能を備えています。不安定な計量値は**青色**で表示されます。安定すると、すぐに**黒色**に変わり、左上の円が消えます。この結果、安定した計量結果をより速く、より安全に、高い信頼性で確認することができます。



計量皿

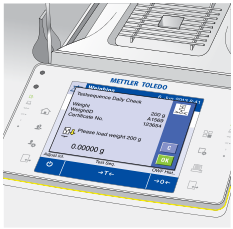
- 計量容器は、必ず計量皿の中央（図に青色で示した位置）に置いてください。これにより偏置誤差を防止できます。

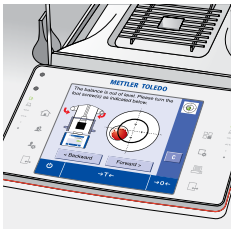
ヒント: メトラー・トレドは、分析天びんと上皿天びんの両方に対して、空気対流の影響を大幅に軽減する独自の計量皿をご用意しています。



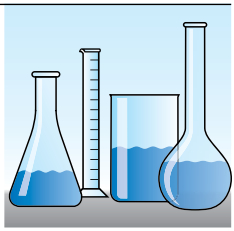
StatusLight™

メトラー・トレドのXPE/XSE天びんには、天びんの操作ターミナル前面に革新的技術、StatusLightが内蔵されています。緑のライトが点灯していれば、天びんが適正な状態であることを示しています。天びんの校正や日常点検が確実に行われ、天びんが水平状態であることなどが一目で分かります。日常点検が必要な場合は黄色、エラーは赤色で表示されます。





計量容器



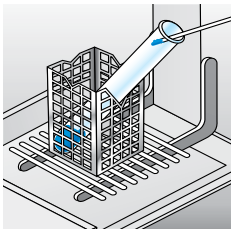
- 可能な限り小さな計量容器を使用してください。
- 大気の相対湿度が30～40%を下回る場合は、プラスチック製容器の使用は避けてください。この条件下では帯電のリスクが高まります。

- ガラスやプラスチックなどの非導電体は帯電しやすく、静電気が計量結果に大きな影響を及ぼすことがあります。適切な対策を行ってください（P19の「静電気」を参照）。

- 計量容器とその中のサンプルの温度は周囲温度と同じにします。周囲と温度差があると空気対流が発生し、計量結果に影響する可能性があります（P7の「温度」を参照）。乾燥オーブンや食器洗浄機から取り出した計量容器は、周囲温度になるまで十分に放置してから天びんに設置します。

- 素手で計量容器を持つことはできるだけ避けてください。素手で持つと、計量チャンバーと計量容器の温度と大気湿度が変化する可能性があり、計量プロセスに悪影響を与える可能性があります。

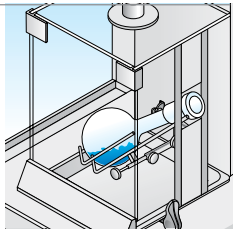
「エルゴクリップバスケット」風袋容器ホルダー



ヒント: 風袋容器ホルダー「エルゴクリップ」各種を使用することで、安全で確実な量り込みが実現します（図を参照）。

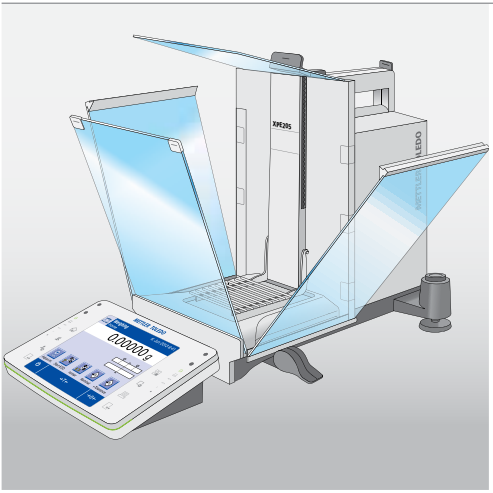
風防

- 風防ドアは必要分だけ開きます。これによって計量チャンバー内部の環境を一定に保ち、計量結果に対する外気の影響を排除できます。
- XPE/XSE天びんなど、自動風防ドアを備え、その作動モードの設定が可能な天びんでは、風防の開きが最小限になるように調整してください。



「エルゴクリップフラスコ」ホルダーとミンウェイドアを使用することで効率的な標準液調製が可能に。

ヒント: 難しい条件下でも簡単かつ高精度な計量ができるように、XPE/XSE天びんには専用のアクセサリの使用をお勧めします。これらの天びんは、好ましくない周囲条件下で許容誤差範囲が狭い場合でも最高の計量結果を提供します。たとえば、メトラー・トレドの「ミンウェイドア」風防は、計量キャビネット内での使用を想定して設計されています。尚、「通常の」計量条件でもメリットがあります。正味表示値の繰り返し性を2倍に向上することができます。



天びんのお手入れ

- 計量チャンバーと計量皿は常にクリーンな状態に維持します。
- 計量にはクリーンな容器だけを使用します。
- 天びんは市販のガラスクリーナーでクリーニングできます。
- 毛羽立ちのない柔らかな布を使用します。
- クリーニングの前に、計量皿などの取り外し可能なすべての部品を取り外します。

ヒント: XPE/XSE分析天びんは、風防ガラスをすべて取り外して削除洗浄機で洗浄することができます。

4. 外部からの物理的影響

重量表示が安定しない場合は、計量結果が一方向にゆっくりとドリフトします。通常は、これは好ましくない物理的な影響によるものです。

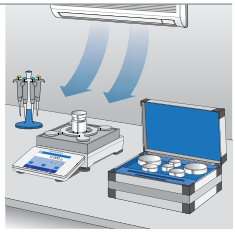
最も頻繁に見られる原因は次のとおりです。
- 天びん設置場所の周囲環境の影響
- 計量サンプルの吸湿/揮発
- 計量サンプルまたは容器への静電気の帯電
- 磁性のサンプルまたは計量容器
- サンプル、計量容器、天びん、周囲の温度差

次のセクションでは、これらの影響とその原因を詳細に説明し、可能な対策を示します。

通風が計量に与える影響

問題

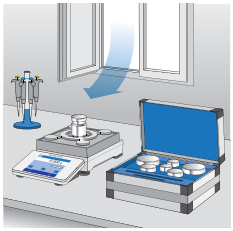
表示される重量値が絶えずドリフトし、ゼロ設定/風袋引き操作が困難になる、安定時間が長くなる、測定が正確でなくなる。



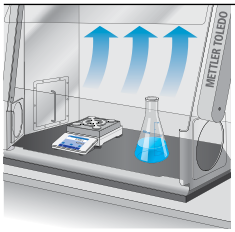
空調装置による空気対流を受けるSmartPan™使用のXPE6003SD5上皿天びん

考えられる原因

通風が発生する環境に天びんが置かれ、使用されている。次の原因と環境が考えられます。
- 空調装置の吹出口、天井ファン、窓、暖房装置の近くに天びんが設置されている。
- 冷却ファンを備えたラボ装置から出る気流に天びんが曝されている。
- サンプルとその周囲との温度差が大きいために熱流が発生している。
- 遮るものがない保護されていないエリアに天びんが置かれている(製造環境など)。
- ドラフトチャンバー、安全/バイオハザードキャビネット内に天びんが置かれている。



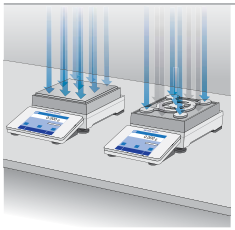
開いた窓の近くに設置されたXPE6003SD5上皿天びん



安全キャビネット内に設置されたXPE6003SD5上皿天びん

例

ユーザーが有毒な煙、蒸気、埃、エアゾールに曝されないように、ドラフトチャンバーを使用してサンプルを扱い、計量することが頻繁にあります。
空気速度が0.3~0.5m/sの乱気流を使用して換気するドラフトチャンバーは、天びんを扱う最も厳しい環境の1つです。



空気対流の影響：
標準の計量皿とSmartPan™の比較。SmartPan™の方が空気抵抗が少ない。

対策

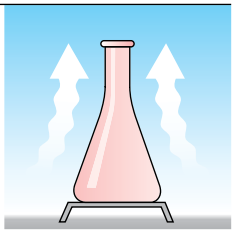
- 可能であれば、気流の発生源から十分に離れた場所に天びんをしてください。
- 計量皿が空気対流に曝されないよう保護するために、手動または自動の風防ドアを使用します。
- 空気対流による影響を最小限に抑えるために、メトラー・トレドには、過酷な条件下での使用に適したSmartGrid計量皿（分析天びん）やSmartPan計量皿（上皿天びん）を搭載した天びんがあります。

上皿天びん用のSmartPanは、対流の影響を最小限に抑えるために特別に最適化されているため、風防を使用しない場合でも過酷な条件下で計量を行うことができます。
SmartPanを使用することで、従来の計量皿と比較して安定時間と繰り返し性が50%以上向上します。

温度変化が計量に与える影響

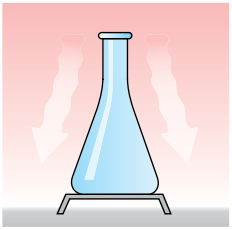
問題

天びんの表示が一方向にドリフトする。



考えられる原因

天びんが十分に長い時間電源に接続されていない。



計量サンプルと周囲との間に温度差があると、計量容器周辺に空気対流が発生する可能性があります。容器の側面に沿った空気の流れは上下方向の力を発生させて、計量結果に悪い影響を及ぼします。この効果は動的浮力と呼ばれます。温度平衡に達するまでは、この効果は消えません。冷たい物体は重く、温かい物体は軽くなります。

実験

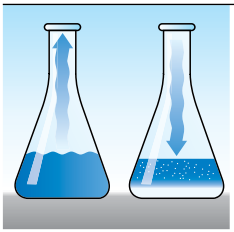
次の実験を使用して動的浮力の試験を実施できます。三角フラスコまたは同様のフラスコを計量し、その重量を記録します。フラスコを約1分間手で握った後、再度計量します。フラスコの温度が高くなったため、フラスコの重量は以前より軽く表示されます。

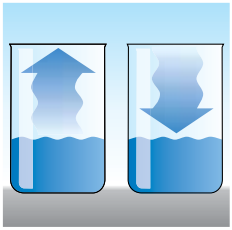
注意

手の発汗はこの効果に影響を与えません。影響があれば、サンプルはむしろ重くなるはずです。

対策

- 乾燥オーブンや冷蔵庫から取り出したばかりのサンプルを計量しないでください。
- 室温または計量チャンバーと同じ温度にサンプルを慣らします。
- 計量容器はピンセットなどで持ち、素手では持たないでください。
- 手を計量チャンバーに入れないようにします。
- 表面積の小さい計量容器を使用します。





開口部が大きい計量容器を使用すると、蒸発や凝縮によって測定誤差が発生するリスクが高まる。

吸湿/揮発

問題

サンプルの重量表示が一方向にドリフトし続け、止まらない。

考えられる原因

揮発性物質の重量損失（水の蒸発など）または吸湿性サンプルの重量増加（大気中の水分の吸収）を測定している。

実験

蓋をしないでアルコールまたはシリカゲルを計量することで、この効果を生じさせることができます。

対策

乾燥したクリーンな計量容器を使用し、計量皿に埃や水滴がつかないようにします。首の細い容器を使用し、蓋や栓を付けます。丸底フラスコにコルクや段ボールの台を使用しないでください。いずれも水分を吸収することがあります。XPE/XSE天びん用のエルゴクリップホルダーを使用すれば、この現象を避けることができます。

人間工学

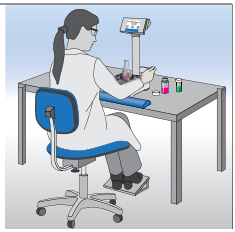
問題

計量場所や天びんの使用方法が、ユーザーの損傷や生産性の低下の原因になる可能性がある。
たとえば、好ましくない姿勢、機械的な負荷が大きい状態、また目への負担が大きい状態で長時間に及ぶ計量作業を繰り返し行うことがあります。
研究室でよく発生する損傷は、上肢や首に影響を与える作業に関連した筋骨格痛や目に関するものです。

対策

ユーザーの怪我を防ぎ、生産性を向上させるには、基本的な人間工学的観点から作業場所と使用する装置を設定する必要があります。

座り作業の姿勢

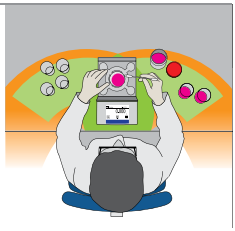


高精度が求められる作業用の計量テーブルはありますか？
長時間にわたる計量作業では、作業台、椅子の肘掛、またはパッドで腕がサポートされていますか？

最適化のためのヒント

- 特殊なアームレストを備えた計量テーブルの使用を検討する

着座時の手の届く範囲



体を伸ばしたり過度に捻ったりせずに必要なものに手が届きますか？器具が近い距離（45cm以内）にありますか？

最適化のためのヒント

- 器具や備品を10~45cmの範囲内に置く
- 器具の整理ケース、回転式ワークステーション、保管ケース、ピペットスタンド、回転台を用意する

立ち作業の姿勢

頭、首、肩、腕の姿勢を自然に保ちながら使用できるように天びんが設置されていますか？

最適化のためのヒント

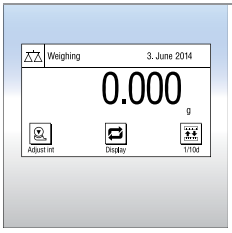
- 天びんの位置を変える
- 天びん用スタンドを使用する

ディスプレイの角度

天びんのディスプレイが目と水平の高さから15~35°下の角度に合うようになっていますか？

最適化のためのヒント

- 首や目の負担を減らすように角度を調節する
- 天びんのディスプレイをスタンドに設置する



ディスプレイのサイズ

天びんのディスプレイに表示される数字をあらゆる角度から容易に読み取れますか？表示される数字は必要に応じて一時的に拡大できますか？

最適化のためのヒント

- ディスプレイの角度、明るさ、コントラスト
- 数字が大きく表示されるディスプレイを備えた天びんを使用する
- 長時間の計量作業ではコンピュータ用眼鏡を使用する

静電気

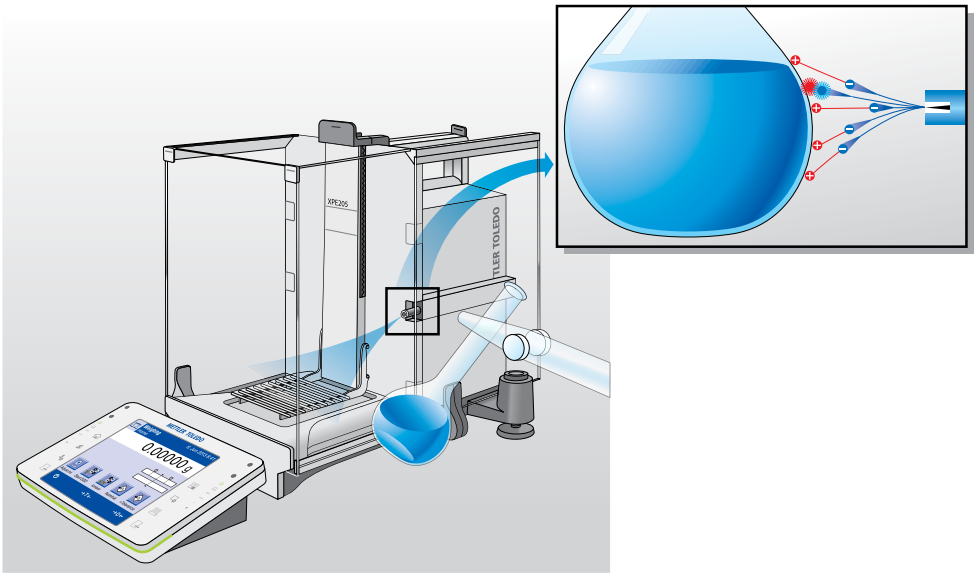
問題

計量のたびに結果が異なる。重量表示が安定しない。計量の繰り返し性が低い。

考えられる原因

計量容器やサンプルが静電気を帯びている可能性があります。ガラス、プラスチック、粉末、顆粒などの導電性の低い素材やサンプルは帯電を避けるのが難しく、静電気の除去に数分間または数時間かかることが頻繁にあります。相対湿度が40%未満の乾燥した空気ではそのリスクが高まります。

計量エラーは、サンプル、容器、周囲環境間の静電作用力が原因で発生します。

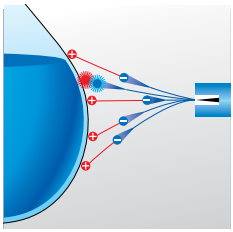


実験

清潔なガラスまたはプラスチック容器をウールの布でやさしく擦ると、静電気が帯電していることが明らかに分かります（湿度が40%未満の場合）。

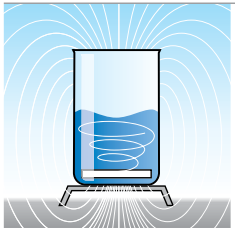
対策

- 大気湿度を上げます。
  静電気の帯電は、冬季の暖房のきいた部屋で発生しがちです。空調のきいている部屋では、湿度が45~60%になるように空調設備の設定状態を調整すると効果があります。
- 静電気力を遮蔽します（ファラデー効果）。
  計量容器を金属製容器に入れます。
- 他の計量容器を使用します。
  プラスチックやガラスは帯電しやすいため、計量容器には不適切です。金属製容器の方が適しています。
- 静電気除去装置を使用します。



ヒント: 計量容器の静電気を除去するには、コンパクトなイオナイザーキットが非常に有効です。

注意: 天びんおよび天びんの計量皿は常に接地する必要があります。3ピンの電源プラグを搭載したメトラー・トレドのすべての天びんは自動的に接地されます。



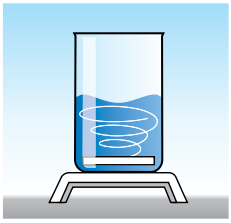
磁力

問題

サンプルの重量が計量皿に置いた位置によって変わる。計量結果の繰り返し性は低いが、表示値は安定している。

考えられる原因

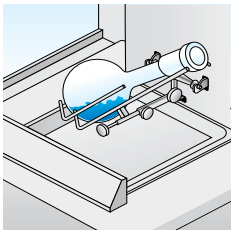
磁性物質を計量している可能性があります。磁性物質や透磁性物質は相互に吸引/反発し合います。発生作用力は誤って荷重と解釈されます。
鉄（スチール）を素材とした被計量物のほとんどが高い透磁性（強磁性）を持っています。



対策

可能であれば、計量サンプルをMuメタル箔の容器に入れるなどして磁力を遮蔽します。磁力は距離が長いほど低下するため、非磁性の干渉材（ビーカーやアルミ製スタンドなど）を使用してサンプルを計量皿からさらに離す対策も有効です。天びんの下に計量用フックを使用することでも同じ効果を得ることができます。この「床下計量」設定は、メトラー・トレドのほとんどの天びんに標準搭載されています。 尚、メトラー・トレドは磁気の影響を最小限に抑えるために、可能な限り非磁性体材料を使用しています。

XPE/XSE天びん用の風袋容器ホルダー「エルゴクリップフラスコホルダー」



ヒント: 通常~大型サイズの磁石を上皿天びんで計量するには、「MPS計量皿」（防磁性計量皿）の使用をお勧めします。分析天びんの場合は三角ホルダーの使用をお勧めします。これにより、磁石と計量皿との距離を大きくすることができます。XPE/XSEシリーズの天びんには、風袋容器ホルダー「エルゴクリップ」各種の使用をお勧めします。

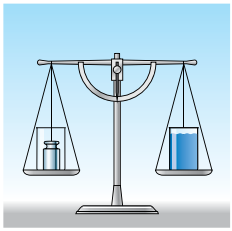
浮力

影響

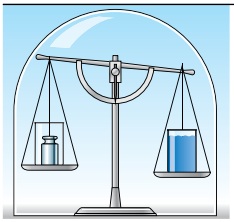
サンプルの重量は大気中と真空中で異なります。

理由

「ある物体の重量はその物体が押しのけた媒体の重量と等しい」（アルキメデスの原理）。この原理により、なぜ船が浮かび、熱気球が上昇し、サンプルの重量が大気圧により異なるのを説明できます。



私たちを取り囲む媒体は大気です。大気の密度は約1.2kg/m³です（温度と大気圧によって異なる）。サンプル（物質）に作用する浮力はその体積1立方メートル当たり1.2kgとなります。



実験

100gの校正用分銅を竿ばかり上のビーカーに入れ、もう一方の計量皿上の同じビーカーに、天びんが釣り合うまで水を加えます。この2つの計量サンプルは、空気中で計量した場合は重量が同じになります。次にこの竿ばかり全体にガラス製の大型ジャーをかぶせ、中を真空にします。天びんは水が入っているビーカーの方に傾きます。これは、水の方が体積が大きいため、その分大きな浮力をうけていたからです。真空中では浮力はありません。

基準分銅	**水**	
大気中での重量	100g	100g
密度	8000kg/m³	1000kg/m³
体積	12.5cm³	100cm³
浮力	15mg	120mg
真空中での重量	100.015g	100.120g

対策

天びんの感度は、密度8.0g/cm³の基準分銅で調整されています。計量サンプルの密度が異なる場合は、浮力による誤差が発生します。高い相対測定精度が要求される場合は、これに応じて表示値を補正することが望まれます。

サンプル処理後の質量差測定や重量比較測定などのように測定日が異なる場合、気圧、大気の相対湿度、気温をチェックし、以下に示したように大気による浮力を補正します。

サンプルの質量測定手順

1.大気密度の算出

$$\rho_a = \frac{0.348444\ p - h(0.00252\ t - 0.020582)}{273.15 + t}$$

ρ 大気密度、kg/m³

P 大気圧、hPa (= mbar) (計量場所での気圧を適用)

h 相対湿度、%

t 温度、°C

2.サンプルの質量測定（大気による浮力を補正）

$$m = \frac{1 - \frac{\rho_a}{\rho_c}}{1 - \frac{\rho_a}{\rho}} W$$

m 質量
a 大気密度、kg/m³
ρ 計量サンプルの密度
c 通常物体密度（8000kg/m³）
W 計量値（天びんの表示）

例

天びん表示値200.000g
大気圧1018hPa
相対湿度70%
温度20°C
計量サンプルの密度2600kg/m³

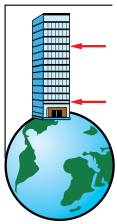
$$\rho_a = \frac{0.348444 \cdot 1018 - 70\,(0.00252 \cdot 20 - 0.020582)}{273.15 + 20} = 1.2029\ \mathrm{kg/m^3}$$

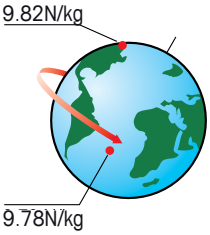
$$m = \frac{1 - \frac{1.2029\ \mathrm{kg/m^3}}{8000\ \mathrm{kg/m^3}}}{1 - \frac{1.2029\ \mathrm{kg/m^3}}{2600\ \mathrm{kg/m^3}}} 200\ \mathrm{g} = 200.0625\ \mathrm{g}$$

重力

作用

標高が変わると計量結果は異なります。たとえば、計量場所の標高が10m異なると（建物の1階から4階に移動するなど）重量表示が変化します。





説明

物質の重量を測定する場合、天びんは重量の力、つまり地球と計量サンプルの間の引力（重力）を測定しています。この力は、本質的には測定場所の緯度と標高（地球表面からの距離）によって異なります。

次のような法則があります。

1. ある物体が地球の中心点から遠ざかるほど、その物体に作用する重力は小さくなります。重力は距離の2乗に反比例して減少します。

$$F_G = G \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}$$

2. 測定場所が赤道に近いほど、地球の自転により遠心加速度が大きくなります。この遠心加速度は引力（重力）に反作用します。南北の極地点は赤道から最も離れている地点であり、同時に地球の中心点に最も近い地点です。ここでは物体に作用する力が最大となります。

例

1階では正確に200.00000gを示す200gの分銅の場合、4階（10m高い）での計量結果は次のようになります。

$$200\ \mathrm{g}\ \frac{r_{地球}^2}{(r_{地球}+\Delta)^2} = 200\ \mathrm{g}\ \frac{(6\ 370\ 000\ \mathrm{m})^2}{(6\ 370\ 010\ \mathrm{m})^2} = 199.99937\ \mathrm{g}$$

対策

天びんの設置場所を変更するたびに、または天びんを初めて使用する前に水平調整を実行し、天びんの調整（校正）を実行します。

ヒント：「FACT」（完全自動調整機構）を備えた天びんはこの調整を自動的に行います。メトラー・トレドのXPE/XSE天びんシリーズには「FACT」が標準搭載されています。

5. 計量に関する専門用語

最小表示

天びんの最小表示とは、ディスプレイ上で読み取れる二つの測定値間の最小差のことです。デジタルディスプレイでは、これは最も小さい数値の増分で、目量とも呼ばれます。

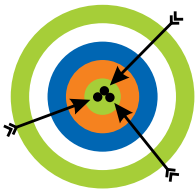
天びん機種に応じた標準最小表示（または目量）

ウルトラミクロ天びん	1d[1)] =	0.1µg	= 0.0000001g	7桁
ミクロ天びん	1d =	1µg	= 0.000001g	6桁
セミミクロ天びん	1d =	0.01mg	= 0.00001g	5桁
分析天びん	1d =	0.1mg	= 0.0001g	4桁
上皿天びん	1d =	1 g～1mg	= 1 g～0.001g	0～3桁

1d[1)] = 1 桁 = 1 の数値の増分

ヒント: メトラー・トレドの「デルタレンジ」または「デュアルレンジ」天びんは2つの異なるレベルの最小表示を備えているため、より柔軟な計量が可能です。

正確さ



正確さは質に関する名称で、テスト結果が基準値にどの程度一致しているかを表します。基準値は、定義または協定によって、実際の値であったり期待値であったりします。[DIN[2] 55350-13]を参照。

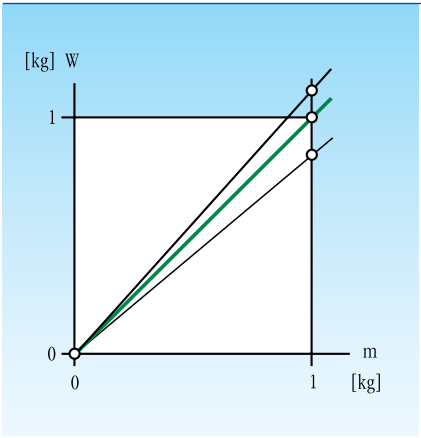
或いは単に、天びんの表示値が被計量物の実際の重量にどこまで近似しているかを表します。

試験用分銅の精度等級

OIML[3] R111に従った分銅等級の推奨により、分銅等級に該当する公差限界が保持され、素材品質と表面品質がこの国際推奨事項に該当することが保証されます。**www.oiml.com**

2 DINドイツ規格協会
3 OIML国際法定計量機関

検査、測定、試験装置の管理の一環として、品質管理規則では、天びんをある一定間隔でトレーサブルな分銅を用いて校正または調整することを求めています。これには該当精度等級の検定済み分銅を使用する必要があります。



公称計量範囲1kgの天びんでの計量値Wと荷重m間の感度。中央の線は、感度（傾き）が正しい天びんの特性曲線を示す。上側の特性曲線は傾きが急すぎる曲線（図は高すぎる感度をわかりやすく表示）、下側は傾きが緩い曲線（感度が低すぎる）

感度

機器の出力値変化をこれに帰属する入力値変化で割った値です（[VIM] 5.10）[4]。
天びんでは、計量値の変動量ΔWをこの発生原因である荷重変動量 Δm

$$S = \frac{\Delta W}{\Delta m}$$

感度は天びんの最も重要な仕様の1つです。

温度と感度

感度は温度に依存します。温度への依存度は、周囲環境における温度変化の影響による計量値の可逆的偏差により測定されます。これは感度の温度係数（TC）により表わされ、重量表示値の（またはサンプル重量）1°C当たりの偏差を百分率として表したものに相当します。たとえば、XPE天びんでは感度の温度係数は0.0001%/°Cです。
これは、1°Cの温度変化に対して感度が0.0001%つまり百万分の一変化することを示します。

[4] VIM国際計量用語集

温度係数は次のように算出します。

$$TC = \frac{\Delta S}{\Delta T} = \frac{\frac{\Delta R}{m}}{\Delta T} = \frac{\Delta R}{m\,\Delta T}$$

この式で、ΔSは感度変化、ΔTは温度変化を示しています。感度変化ΔSは、計量結果の変化ΔRを天びんの荷重mで割った値、または風袋引き後にサンプル重量で割った値に等しくなります。これらの数値から、ある温度変化における計量結果の偏差を数式から導くことができます。

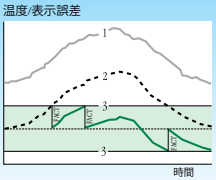
表示値について次の式が得られます。

$$\Delta R = (TC\ \Delta T)\ m$$

XPE/XSE分析天びんで100gの荷重（サンプル重量）を計量し、周囲温度が前回の調整時から5°C変化した場合は、次の最大の測定結果の変化ΔRが得られます（XPEの0.0001%/°Cの温度係数を使用）。

$$\Delta R = (TC\ \Delta T)\ m = (0.0001\ \%/°C \cdot 5\ °C)\ 100\ g = 0.5\ mg$$

一方、荷重がわずか100mgの場合、つまり千分の一の場合は、最大偏差もこれに対応して小さくなり、わずか0.5µgになります。



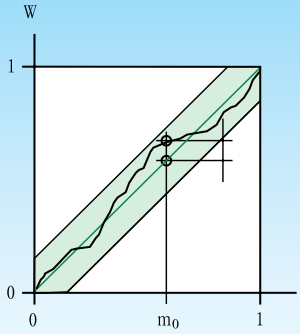
FACT

これは「Fully Automatic Calibration Technology（完全自動調整機構）」の略で、天びんの機種と直線性に応じて感度の自動調整が行われます。調整過程は予め設定した温度変化を超過すると実行開始されます。

内蔵分銅は工場にて国際質量標準にトレーサブルな分銅を用いて「一次調整（一次校正）」され組み込まれています。この過程で内蔵分銅の質量は校正済み分銅にて値付けされ、その値が天びんに保存されています。

proFACT
これは「Professional Fully Automatic Calibration Technology（プロフェッショナル完全自動調整機構）」の略です。感度のより高度な自動調整を行います。

ヒント: XPE/XSE分析天びんには2つの内蔵分銅が搭載されています。これにより、調整（校正）時には感度だけでなく、非直線性もチェックされます(以下参照)。



直線性（非直線性）
荷重mと表示値Wの線的相関性（感度）です。ここでは、計量特性曲線としてゼロ点と最大荷重間に直線が想定されます（感度の項を参照）。

一方、非直線性は計量値が理想的特性線からプラスまたはマイナス側に偏差するバンド幅です。

たとえばメトラー・トレドのXPE205分析天びんでは、特性曲線の直線部分からの偏差は、200gの計量範囲全体で最大±0.15mgです。

繰り返し性
繰り返し性とは、同一のサンプルを同じ方法、条件下で繰り返して計量した場合に、天びんが同じ計量値を表示するかどうかの尺度です（[OIML[5] R 76 1] T.4.3）。

一連の計量値は、同一の担当者が同一の計量方法で、同一の天びん設置場所において計量皿の同じ位置に荷重をのせ、一定の周囲環境条件の下で中断することなく計量を実行する必要があります。

一連の計量値の標準偏差は繰り返し性を表すために適した値です。

[5] 国際法定計量機関

特に高分解能天びんでは繰り返し性の値は、天びん性能だけでなく、サンプルの周囲環境条件（通風、温度変化、振動）及び部分的には計量実施者の経験にも依存します。

次の例は、最小表示が0.01mgのセミミクロ天びんで実行した一連の一般的な測定を示します。

x_1 = 27.51467g	x_6 = 27.51467g
x_2 = 27.51466g	x_7 = 27.51467g
x_3 = 27.51468g	x_8 = 27.51466g
x_4 = 27.51466g	x_9 = 27.51468g
x_5 = 27.51465g	x_{10} = 27.51467g

この一連の測定の平均値と繰り返し性を求めます。

平均値:

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i$$

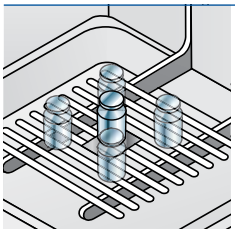
x_i = 一連の計量の第i番目の結果
n = 測定（計量）回数、通常は10回
平均値: x = 27.514667g

$$s_x = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}$$

標準偏差「s」は、繰り返し性「r」を表す値として使用されます。したがって、この一連の測定の繰り返し性はs = 0.0095mgとなります。
測定結果の不確かさは繰り返し性の約2~3倍になります（$2s \le u \le 3s$）。つまり、真の計量結果xは$x - u < x < x + u$の範囲内になります。

この例ではu ≈ 2 s ≈ 2 x 0.01mg = 0.02mgとなるため、計量結果をx ± u = 27.51467g ± 0.02mgであるとすることができます。
したがって、この一連の計量で使用した天びんを用いたこの荷重で期待される測定値は、最小値が27.51465g、最大値が27.51469gです。これは一連の計量と一致しています。

トレーサビリティ
該当する国内または国際規格を基準にし、測定の不確かさが規定値になるように、中断なく行った一連の比較測定で得られた測定結果の特性です（[VIM][6] 6.10）。質量測定に使用される通常の分銅は上位の標準までトレーサブルです。


偏置荷重の正式名称は「偏心荷重誤差」

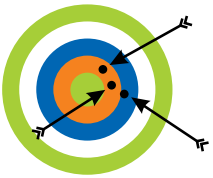
偏置誤差
荷重負荷点が中心にない（偏心）ことによって発生する計量誤差です。偏置誤差は重量が大きくなるほど、中心点からの距離が離れるほど増加します。

計量皿の異なる部分に同じ荷重を置いても表示が安定している場合は、その天びんには偏置誤差はありません。このことから、高分解能の天びんではサンプルを計量皿の真ん中に正確にのせるよう注意を払う必要があります。

再現性
同一のサンプルの複数の計量値間の近似性のことで、各計量が下に挙げたような事柄に関し異なる条件（要レポート記録事項）下で実行されます。
- 計量プロセス
- ユーザー
- 計量装置
- 計量場所
- 使用条件
- 計量日時

[6] VIM国際計量用語集

精度



計量の繰り返し性を示す質的概念です。

ある特定の条件下における個別の計量値の合致性の程度（[ISO[7] 5725] 3.12）。
精度とは、偶発的誤差の分布状態に依存するものであり、質量の真の値（正確さ）に依存するものではありません。

備考

精度を評価できるのは複数の測定値がある場合のみです。

測定の不確かさ

測定結果に付随するパラメータで、合理的に測定量に結びつけることの出来る値の分布状態を表わします（[VIM][8] 3.9）。

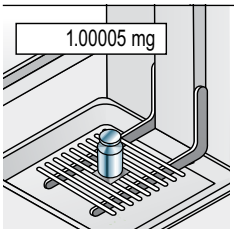
一般に、測定の不確かさは、標準不確かさu、または拡張不確かさU（信頼範囲）によって表わされます。測定の不確かさのを決定する方法はGUM[9]に述べられています。GUMに準拠した測定の不確かさは、誤差自体が相互に影響し合わなければ、この平方の合計値により得ることができます。

備考

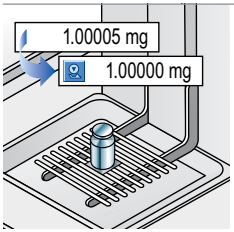
測定の不確かさを算出するにはさまざまな方法があります。製薬業界では通常はUSP（米国薬局方）規格が使用されます。ISO規格は代替法です。後者は GUM 法に対応します。

ヒント: メトラー・トレドのサービス部門は、ほとんどの国でお客様のご要請に応じてオンサイトでの不確かさを算出しています。

7 ISO国際標準化機構
8 VIM国際計量用語集
9 GUM測定の不確かさに関するガイド



校正
指定された測定条件下で、測定変数の測定値と真の値との偏差を確認すること。



調整
測定値と真の値の偏差の補正。

6. GWP® - 計量ガイドライン

GWP®
Good Weighing Practice™

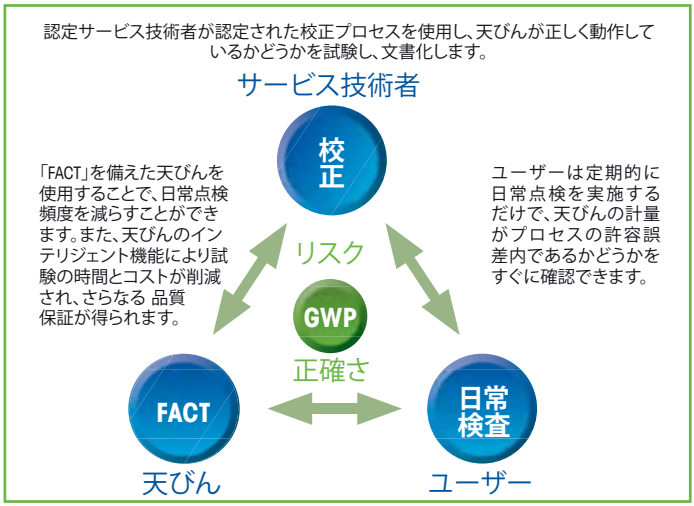
メトラー・トレドの計量ノウハウと実績を基に開発されたGWP®(Good Weighing Practice™)は、計量システムの効率的なライフサイクル管理のためのグローバルガイドラインです。GWP®を基盤としたすべてのサービスおよび製品機能は、適正な天びんの評価/選定方法から天びんの性能を維持するための日常点検まで計量プロセスに要求されるニーズにお応えします。

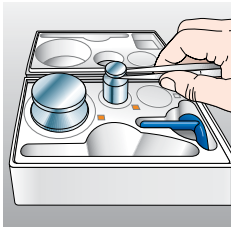
スイスの高精度/高品質の要件に則り、グローバル市場での適応が考慮されたGWP®は、製品の安全性と品質を保証します。また、現行の国際的な品質規格の要求事項への準拠が必要とされる中、メトラー・トレドは、お客様が準拠を必要とされる品質条件から管理手順まで、計量プロセスを効率的にサポートします。GWP®により、一貫された計量精度の保証はもちろん、外部監査への対応、性能維持を目的とした日常点検の最適化による点検コストの節減が可能です。

GWP® Performance Verificationは、以下のような疑問に答えます。

- 最適な計量方法とは？
- 天びんの日常点検は何をどのように実施すべきか？
- 日常点検と校正の頻度は？
- 点検頻度とコストを削減できる方法とは？

サービス技術者による定期的なメンテナンスと天びんの校正は、計量結果が一貫して正確であることを保証するために推奨されています。また、予防保守は天びんのライフサイクルを長期化する効果もあります。
GWP®は定期的メンテナンスの間に、校正済みの外部分銅を使用した日常点検を推奨しています。





「ケアパック」分銅セットを使用すると常に安心が保証されます。

ヒント: 日常点検に適した試験用分銅を使用することが重要です。メトラー・トレドは「ケアパック」分銅セットをご提供しています。GWP®ガイドラインに従って設計されたこの分銅セットには、適切な分銅、試験許容誤差、分銅用ピンセット、手袋、試験手順説明書が含まれています。

▶ **www.mt.com/carepacs**

Good Weighing Practice™の詳細は以下のウェブサイトをご覧ください。

▶ **www.mt.com/GWP**.

7. 索引

F
FACT 27

G
GWP® 33、34

P
proFACT 28

S
StatusLight 10

お
温度 7、14
温度感度 26

か
感度 26

き
吸湿 16

く
空気浮力 21

け
計量ガイドライン 33
計量皿 10
計量室 6
計量台 6
計量容器 11
計量用語 25

ひ
光 7

こ
校正 32

さ
再現性 30
最小表示 25

し
試験用分銅の精度等級 25
磁性 20
重力 23

に
人間工学 17

す
スイッチオン 8
スタンバイ 8
水平調整 8

せ
ゼロ設定/風袋引き 9
正確さ 25
精度 31
静電気 19

そ
測定の不確かさ 31

た
大気湿度 7

ち
調整 9、32
直線性（非直線性） 28

つ
通風 13

よ
読み取り 9

と
トレーサビリティ 30

へ
偏置荷重 30

ら
ラボ 6

8. メトラー・トレドのオフィス所在地

イタリア	**Mettler-Toledo S.p.A.,** I-20026 Novate Milanese Tel. (02) 333 321, Fax (02) 356 29 73
インド	**Mettler-Toledo India Pvt Ltd,** Mumbai 400 072 Tel. (22) 4291 0111 Fax (22) 2857 5071
オーストラリア	**Mettler-Toledo Ltd.,** Port Melbourne, Victoria 3207 Tel. (03) 9644 57 00, Fax (03) 9645 39 35
オーストリア	**Mettler-Toledo GmbH.,** A-1230 Wien Tel. (01) 604 19 80, Fax (01) 604 28 80
オランダ	**Mettler-Toledo B.V.,** NL-4004 JK Tiel Tel. (0344) 638 363, Fax (0344) 638 390
カザフスタン	**Mettler-Toledo Central Asia,** 050009 Almaty Tel. (07) 727 2980833, Fax (07) 7272980835
カナダ	**Mettler-Toledo Inc.,** Ontario, Canada Tel 800-METTLER, Fax (905) 681-8036
クロアチア	**Mettler-Toledo, d.o.o.,** HR-10000 Zagreb Tel. 01 29 58 130, Fax 01 29 58 140
シンガポール	**Mettler-Toledo (S) Pte. Ltd.,** Singapore 139959 Tel. 65-6890 0011, Fax 65-6890 0012
スイス	**Mettler-Toledo (Schweiz) GmbH,** CH-8606 Greifensee Tel. (044) 944 47 60, Fax (044) 944 45 10
スウェーデン	**Mettler-Toledo AB,** S-12008 Stockholm Tel. (08) 702 50 00, Fax (08) 642 45 62
スペイン	**Mettler-Toledo S.A.E.,** E-08908 Barcelona Tel. 902 32 00 23, Fax 902 32 00 24
スロバキア	**Mettler-Toledo,** SK-83103 Bratislava Tel. (02) 4444 12 20-2, Fax (02) 4444 12 23
スロベニア	**Mettler-Toledo, d.o.o.,** SI-1261 Ljubljana – Dobrunje Tel. (01) 547 4900, Fax (01) 542 0252
タイ	**Mettler-Toledo (Thailand) Ltd.,** Bangkok 10320 Tel. 66-2-723 0300, Fax 66-2-719 6479
チェコ共和国	**Mettler-Toledo, spol, s.r.o.,** CZ-100 00 Praha 10 Tel. 272 123 150, Fax 272 123 170
デンマーク	**Mettler-Toledo A/S,** DK-2600 Glostrup Tel. (43) 270 800, Fax (43) 270 828
ドイツ	**Mettler-Toledo GmbH,** D-35353 Giessen Tel. (0641) 50 70, Fax (0641) 507 128
トルコ	**Mettler-Toledo Turkey,** Istanbul Tel. (90) 216 400 20 20, Fax (90) 216 400 20 00

ノルウェー	**Mettler-Toledo A/S,** N-1008 Oslo Tel. 22 30 44 90, Fax 22 32 70 02
ハンガリー	**Mettler-Toledo Kft.,** H-1139 Budapest Tel. 06 1 288 4040, Fax: 06 1 288 4050
ブラジル	**Mettler-Toledo Ltda.,** 06455-000 Barueri/São Paulo Tel. (11) 4166-7400, Fax (11) 4166-7406
フランス	**Mettler-Toledo SAS,** F-78222 Viroflay Tel. (01) 3097 17 17, Fax (01) 3097 16 16
ベトナム	**Mettler Toledo Vietnam LLC.,** Ho Chi Minh City Tel. +84-8-3551-5924, Fax +84-8-3551-5923
ベルギー	**Mettler-Toledo s.a.,** B-1932 Zaventem Tel. (02) 334 02 11, Fax (02) 334 03 34
ポーランド	**Mettler-Toledo, Sp. z o.o.,** PL-02-822 Warszawa Tel. (22) 545 06 80, Fax (22) 545 06 88
マレーシア	**Mettler-Toledo (M) Sdn. Bhd.,** 40150 Selangor Tel. +60-3-7844 5888, Fax +60-3-784 58 773
メキシコ	**Mettler-Toledo S.A. de C.V.,** México C.P. 06430 Tel. (55) 5547 5700, Fax (55) 5547 2128
ロシア	**Mettler-Toledo C.I.S.AG,** 101000 Moskau Tel. (495) 651 98 86, Fax 499) 272 22 74
韓国	**Mettler-Toledo (Korea) Ltd.,** Seoul 137-130 Tel. 82-2-3498-3500, Fax 82-2-3498-3555
米国	**Mettler-Toledo, LLC,** Columbus, OH 43240 Tel. 800-METTLER, Fax (614) 438 4900
日本	**Mettler-Toledo K.K.,** Tokyo 110-0008 Tel. (3) 5815 5515, Fax (3) 5815 5525
台湾	**Mettler-Toledo Pac Rim AG,** Taipei Tel. (2) 2657 8898, Fax (2) 2657 0776
香港	**Mettler-Toledo (HK) Ltd.,** Kowloon Tel. (852) 2744 1221, Fax (852) 2744 6878
英国	**Mettler-Toledo Ltd.,** Leicester, LE4 1AW Tel. (0116) 235 70 70, Fax (0116) 236 6399
中国	**Mettler-Toledo China,** Shanghai 200233 Tel. (21) 6485 04 35, Fax (21) 6485 33 51

計量に関する専門知識をご活用ください。

ラボでの計量における長年の経験と実績に基づき、メトラー・トレドは広範囲のオンライン学習ツールを構築してきました。お客様の計量のノウハウを向上させ、天びんを最大限にご活用いただくために、私たちの専門知識をぜひお役立てください。

ビデオ
ビデオでは、天びんの使い方のデモや計量ソリューションについての情報をお届けします。例:
- 静電気防止ソリューション
- 簡単な天びんのお手入れ
- エルゴクリップ

▸ www.youtube.com/mtlaboratory

ホワイトペーパー
科学的なホワイトペーパー(技術資料)には、次のようなさまざまなトピックに関する豊富な情報が記載されています。
- GWP – 科学に基づく計量ガイドライン
- 天びんの安全機能
- 静電気防止テクノロジー
- データの整合性

▸ www.mt.com/balances

ウェビナー/Eラーニング
メトラー・トレドの計量の専門家やゲスト講師が解説します。登録は簡単です。
初心者の方には、次のコースをお勧めします。
- OoS(規格外)エラーを最小化する方法
- Good Weighing Practice

▸ www.mt.com/webinars
▸ www.mt.com/lab-elearning

www.mt.com
詳しくはウェブサイトをご覧ください

"日本が認めた スイスクオリティ"
- 経済産業省の厳しい審査をメトラー・トレド社が突破 -
2012年9月よりメトラー・トレドは指定外国製造事業者の指定を受けています。
指定外国製造事業者 指定番号:02CH01

720911

メトラー・トレド株式会社　ラボラトリー事業部
TEL:03-5815-5515　　FAX:03-5815-5525

代理店名

© 05/2015 Mettler-Toledo K.K.,
Printed in Japan 720911
●製品の仕様・価格は予告なく変更することがありますので、
あらかじめご了承ください